

【研究ノート】

経済協力開発機構 (OECD) における水資源管理対策 (二)

長谷川 三雄

目 次

1. は じ め に
2. 生産制限因子
 - 2-1 基 礎
 - 2-2 相 関 分 析
 - 2-3 回 帰 分 析
3. む す び

1. は じ め に

水は、生物の生命を維持する上で、必要不可欠な天然資源である。また、地中海沿岸、オーストラリアおよび米国南西部の半乾燥地域では、従来から水を利用する可能性の有無が、その地域の経済発展を強く制限する一要因となっている。経済協力開発機構 (Organization for Economic Cooperation and Development : OECD) 加盟諸国における1975年の推計^①によれば、国民1人当たりの年間取水量は、最高が米国の $2,720\text{m}^3/\text{人}$ であるのに対し、最低はスイスの $112\text{m}^3/\text{人}$ と約24倍の開きがある。これは、個々の国家が置かれている気候条件、農業形態、工業形態、エネルギー生産および生活様式等の相違に起因したものであろう。

OECD 加盟諸国は、1960年代初期以降、水質汚濁 (water pollution) の

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

1つの現象である「富栄養化（eutrophication）」が^①、停滞性水域あるいは緩流性水域に属する湖沼および貯水池において発生し、大きな社会問題となっている。湖沼および貯水池は、上水道源、工業用水源、農業用水源、水産業およびレクリエーション等として、地域社会あるいは国家において、政治的、経済的に多種多様の利用価値が存在する。このように重要な資産である湖沼および貯水池に、リンその他の栄養塩類（nutrient salts）が流入することに起因して、富栄養化が発生すると、利水目的上、(1)プランクトンの異常繁殖、(2)湖岸周辺部に大きな水生植物（hydrophyte）が繁茂、(3)水の呈色現象、(4)透明度の悪化、(5)水質は強アルカリ性、(6)溶存酸素（dissolved oxygen：DO）の欠乏、(7)浄水場取入口におけるフィルター^②の閉塞障害、(8)上水道水のカビ臭、土臭および藻臭等の発生、(9)レクリエーション利用の阻害、等の支障を来す結果となる。

OECDは、富栄養化に限らず、水の多目的利用上支障を生ずる水質汚濁を防止するため、OECD加盟諸国に対し、水質汚濁物質を発生源で除去する対策を講ずる（Multiple barrier control strategies）よう^③勧告している。この勧告は、有機塩素系農薬（organochloric compounds for agriculture）の1種で、慢性毒性の強いDDT^④の生産禁止等を含む厳しい内容であるが、我が国では既に昭和46年5月1日から、DDTは全面的に使用が禁止されていた。しかしながら、水質汚濁を防止する上で大きな効果が期待できる、下水処理施設の処理対象人口の比率は、OECD加盟諸国における1975年^①の推計によれば、スウェーデンの81%からポルトガルの2%まで相当の開きがある。我が国は、生活環境の改善を図り、公害防止計画および水質環境基準の達成を目標として、昭和51年度に第4次下水道整備五箇年計画（総事業費7兆5,000億円）が策定された結果、昭和55年度末（事業費達成率96.7%）における処理対象人口の比率は、約30%に達すると見込まれ

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

ており、引き続き昭和56年度に第5次下水道整備五箇年計画（総投資規模11兆8,000億円）を策定し、昭和60年度末までに処理対象人口の比率を、約44%にまで高めることを目的としている^⑤。我が国の例から明らかなように、下水道整備事業には、長い年月と多額の初期投下資本を必要とするが、OECDはその他の問題点として、下水処理施設の維持管理に関する財政的負担、および管理者側の関心の欠除等により、当初予測した効果が達成されていない状況にあることを指摘している^⑥。この結果、下水処理施設で十分処理されない状態で、処理排水（treated waste water）は陸水域へ排出され、水資源の質の問題を生じている^{⑦⑧}。

現在、地球的規模で環境汚染（environmental pollution）が進行しており、各国は越境汚染（transfrontier pollution）の重大な危機に直面している。OECDは、国際河川の管理および保全に関して、流域諸国を構成員とする委員会の設置を提案しており、既にザール川委員会（Saar Commission）およびモーゼル川委員会（Moselle Commission）等が活動している。また、越境汚染に関する情報交換および防止対策の効果を高めるため、フランス・ドイツ・スイス三国委員会（Franco-German-Swiss Tripartite Commission）、あるいは1974年にスカンジナビア諸国によって調印された「北欧環境保護条約（Nordic Environmental Protection Convention）」等の多国間協定が締結されている^⑨が、今後はさらに政治的、経済的および法律的に十分な配慮が必要となるであろう^⑩。このような環境政策は、1972年5月26日に採択されたOECD理事会勧告^⑪、および1974年11月14日に採択されたOECD理事会勧告^⑫における、「汚染者負担原則（Polluter Pays Principle）」^⑬を考慮して立案されなければならない。

上水道源（source for public water）として使用している湖沼および貯水池において、富栄養化現象が発生すると、上水道の水質基準（water

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

quality standard）を確保するため、多量の消毒剤を添加するとともに、時には処理方式の変更を必要とする。これは、給水地域で生活を営む人々に対し、健康上多くの問題を与えるとともに、浄水場施設の新設、その後の維持管理および水処理等、経済的に多額の公共投資を必要とする^{⑭⑮}。1968年、スウェーデンのウプサラ（Uppsala）で開催された、Lake Mälaren（Sweden）、Lough Neagh（United Kingdom）、Lake Maggiore（Italy）、Lake Constance（International Commission Austria, Germany, Switzerland）、Laurentian Great Lakes（United States and Canada）および Oslo Fjord（Norway）に関するシンポジウムにおいて、富栄養化および水資源管理計画等の内容が討議されている^⑯。このような大きな湖沼および貯水池の水質を改善し、適した上水道源として使用することは、極めて困難な事業を必要とする^⑰。琵琶湖の滞留率は、河川水と湖水とが完全に混合すると仮定すれば、経年時間4.4年で50%、14.5年で10%および18.9年で5%と報告されており^⑱、当初の湖水が5%以下に入れ代わるのに、19年以上の長い年月を必要とするため、水質の早急な改善は望めない状況下にある。

本論文は、既に報告している OECD 陸水モニタリング協力計画の概要、および人為的富栄養化と水資源管理上の諸問題^⑲を基に、OECD 陸水モニタリング協力計画の調査研究で得られた、湖沼および貯水池における、富栄養化の原因物質としての栄養塩類の判定、および種々の栄養状態指標とその予測式に関して述べる。

2. 生産制限因子

2-1 基礎

一般に湖沼型は、湖水中に生息する生物の一次生産量（primary produc-

Table2-1.

RECOMMENDED BACKGROUND DATA
FOR MEASURING AND MONITORING EUTROPHICATION²⁰
IN INLAND WATERS

A. Geographic

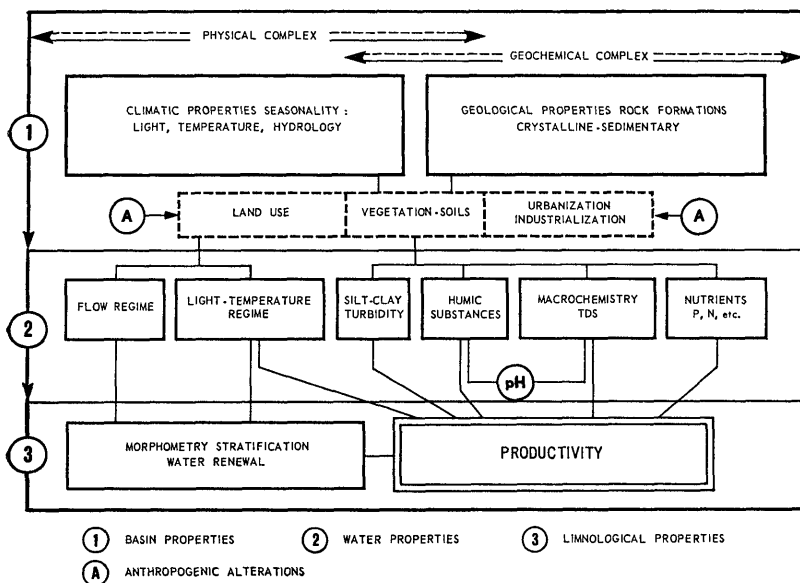
1. Latitude and longitude (of the centroid of the water area).
2. Altitude of the water above sea level (or below).
3. Catchment area (including the area of surface water).
4. General climatic data (ice coverage, average monthly air temperatures, wind pattern, evaporation and evapotranspiration, etc.).
5. General geological characteristics, particular nature of bedrock, subsoil and soils, and the importance of land erosion. Description of type of lake.
6. Vegetation.
7. Population.
8. Land use (industrial, urban, agricultural, etc.).
9. Use of water (drinking, sport, fishing, etc.).
10. Sewage and effluent discharge (population and industry).

著者注：原資料中にあるB(Morphometric and Hydrologic)およびC(Ecologic)は省略。

tion)の増加に伴い、貧栄養湖(oligotrophic lake)、中栄養湖(mesotrophic lake)および富栄養湖(eutrophic lake)に大別されるが、OECD 陸水モニタリング協力計画では、さらに極貧栄養湖(ultra-oligotrophic lake)および極富栄養湖(hypertrophic lake)を加えた5種類に分類している。湖沼における生物の一次生産量は、湖水中に溶存している栄養塩類と密接に関係しており、湖沼型の遷移は、歴史的経過に伴い、湖沼へ流入する栄養塩類の増加に起因した自然的現象である。これは、「湖沼型の自然遷移(natural succession of lake type)」と呼ばれており、湖沼の自然的富栄養化は、1000年以上の長い年月を必要とする。しかしながら現在、大きな社会問題となっている湖沼の富栄養化は、Table 2-1に示す7、8および10の項目に関係した、産業活動の発展、都市人口の増加および生活様式の変化等に伴い、多量の産業排水、生活雑排水および農業排水等の人為的な

Figure2-1.

THE THREE LEVELS DETERMINING THE PRODUCTIVITY OF BODIES OF WATER ²⁰



作用が加えられた結果、加速度的に進行している人為的富栄養化である。Table 2—1 は、OECD 陸水モニタリング協力計画において、陸水域の富栄養化の状態を測定する際および監視する上で、必要となる基礎的データの一部を示しており、Fig. 2—1 は、湖沼の生産量を決定するプロセスを示している。人為的富栄養化は、Fig. 2—1 に示すレベル 1 およびレベル 2 を結ぶ要因として、人為的な作用が加えられた結果生ずる現象である。富栄養化の原因物質である栄養塩類としては、二酸化炭素等の指摘もなされているが、一般には、リンおよび窒素の可能性が高いと指摘されている。²²²³²⁴²⁵1968年、R. A. Vollenweider を中心として、主にリンおよび窒素の栄養塩類に着目した、富栄養化の防止に関するガイドラインの作成が試みられ、²⁶²⁷「富栄養化に関する栄養塩負荷」という概念が導入された。しかしながら、このガイドライン作成の過程において、湖沼学的研究に関するデータの不備が明らかにされた。

1973年1月から4カ年計画でスタートした、OECD 陸水モニタリング協力計画の主要な目的は、富栄養化の原因物質となる栄養塩類を判定するとともに、外部環境から湖沼内に流入する栄養塩類に起因した富栄養化の予測、湖沼内の栄養塩類に起因する富栄養化の予測、および以上の予測データを基礎とした、富栄養化の防止対策を確立することである。OECD は、²²栄養塩類と栄養状態の予測に関して、以下に示す理由に基づき、それぞれ相関分析および回帰分析に分けて論じている。

1. That not all significant correlations found necessarily imply a functional interrelationship.

2. That in the case of regression analyses, attention is given to the predictive aspect whereby questions always arise about which of the possible regression equations is most meaningful for this purpose.

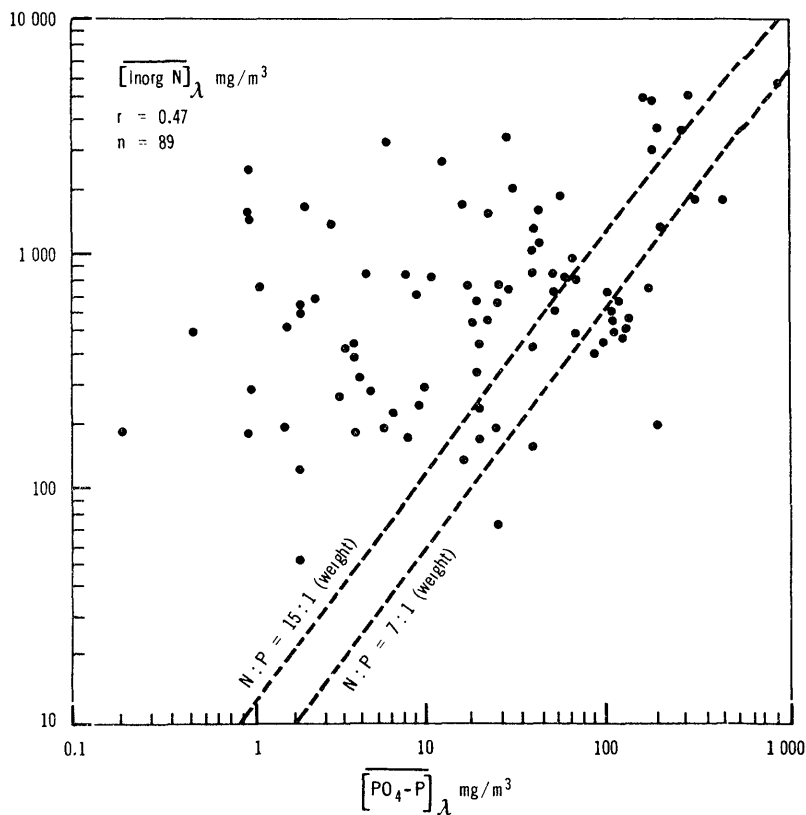
しかしながら、相関分析および回帰分析に用いられた測定データの調査期間は、1年間が52%、2年間が21%、3年間が20%、4年間が4%、5年間が2%および7年間が1%（OECD 陸水モニタリング協力計画における、調査期間以前に得られた測定データも含む）であり、1年間の測定データしか得られていない湖沼が過半数を占めている。このため、OECDにおける相関分析および回帰分析の結果は、年毎の気象変動にともなう種々のパラメータの年変動が十分に考慮されていない。これは、必然的に不確定性の原因となっている。

2-2 相 関 分 析

OECD 陸水モニタリング協力計画において調査研究がなされた湖沼では、湖水中の全リン（total phosphorus）濃度が $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下の場合、オルトリン酸態リン（orthophosphate-P）は平均20%以下となり、全リン濃度が $200\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の場合、オルトリン酸態リンは平均45%以上となる²²。他方、湖水中の全窒素（total nitrogen）濃度が $500\text{mg}/\text{m}^3$ 以下の場合、無機態窒素（mineral nitrogen）は平均60%となり、全窒素濃度が $5,000\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の場合、無機態窒素は平均70%となる²²。得られた調査結果から示唆される内容は、湖沼の富栄養化を防止し、貴重な水資源を管理する上で、リンおよび窒素の無機態成分であり、しかも成長率を制御するオルトリン酸態リンおよび無機態窒素の外部発生源を管理することが重要となる。OECDは、リンおよび窒素の何れが、富栄養化の原因物質となる栄養塩類であるかを判定するため、オルトリン酸態リンおよび無機態窒素との関係について考察している。Fig. 2-2は、湖沼において測定されたオルトリン酸態リンおよび無機態窒素の年平均濃度をプロットした図であり、横軸はオルトリン酸態リン、縦軸は無機態窒素を示している。Fig. 2-2にお

Figure2-2.

CORRELATION OF MINERAL NITROGEN VERSUS ORTHOPHOSPHATE-P, ANNUAL MEAN INLAKE CONCENTRATION VALUES.²²⁾



いて、以下に示す二種類の仮定を立てる。

仮定 1：無機態窒素/オルトリン酸態リン ≥ 15 の湖沼では、無機態窒素に基づく成長制御は存在しない。

仮定 2：無機態窒素/オルトリン酸態リン ≥ 7 の湖沼では、無機態窒素に基づく成長制御は存在しない。

Fig. 2—2 から明らかなように、仮定 1 が成立するならば、調査対象湖沼の約70%はリンに基づく制御を受けており、仮定 2 が成立するならば、調査対象湖沼の約 85%はリンに基づく 制御を受ける結果となる。²²⁾従って OECD は、調査対象湖沼の大多数は、年間を通してリンによる制御を受けていると結論づけている。²²⁾

栄養塩類は、植物プランクトン（phytoplankton）の増殖に対する制約要因となるため、湖沼型と植物プランクトンとの間には、強い相関関係が認められる。全ての植物プランクトンは、クロロフィル（chlorophyll）を多量に含むため、植物プランクトンの現存量の一指標として、クロロフィルを測定することは妥当である。昭和54年12月に環境庁水質保全局長の私的諮問機関として発足した「窒素、リン等水質目標検討会」は、湖沼の水質目標を設定する一指標として、栄養塩類とクロロフィルの関係について報告している。²³⁾²⁹⁾

Table 2—2 は、湖沼内におけるリン濃度および窒素濃度に対する、クロロフィルの年平均値および年最大値を示す。²²⁾Table 2—2 から明らかなように、データ・スクリーニングしていない測定結果から計算した、全リンに対するクロロフィルの年平均値および年最大値との相関係数 r は、各々 $r=0.75$ および $r=0.70$ となる。同様に、全窒素に対するクロロフィルの年平均値および年最大値の相関係数は、各々 $r=0.47$ および $r=0.50$ となる。Table 2—2 は、全ての測定結果を含めて処理した数値を示しているが、

Table2-2.

**ANALYSIS OF DEPENDENCE OF YEARLY AVERAGE AND PEAK CHLOROPHYLL,
RESPECTIVELY FROM:**

a) Average-Inlake Phosphorus and Nitrogen Concentrations.

b) Simple and Partial Correlation;

c) Difference between Simple Correlation Coefficients.

(All cases included without Screening for Validity).

d) Correlation between Phosphorus and Nitrogen Concentrations:

$r = .75$; $B\% = 56$; $t = 8.39$; $n = 57$; $P > 99$

		Average Chlorophyll		Peak Chlorophyll	
A.	[P] λ	(Simple)	(Partial)	(Simple)	(Partial)
n		99		65	
r		0.75		0.70	
B%		56%		49%	
t		11.14		7.78	
	r(exN)	0.68		0.57	
	B(exN)%	46%		32%	
B.	[N] λ	(Simple)	(Partial)	(Simple)	(Partial)
n		53		52	
r		0.47		0.50	
B%		22%		25%	
t		3.80		4.08	
	r(exP)	-.07		-.05	
	B(exP)%	< 1%		< 1%	
C. Differences Between Simple Correlation Coefficients					
U		2.65		1.66	
Level of Significance		P<0.99		P>0.90	
D. Partial B% required for P>0.95 for significant difference from 0(2variables)					
		N= 40		B%= 13.9	
		N= 60		B%= 9.5	
		N= 80		B%= 8.7	
		N=100		B%= 6.2	

妥当性のデータ・スクリーニングを行なうと、全リンに対するクロロフィルの年平均值との相関係数は、 $r=0.88$ ($n=77$, $B=77\%$, $t=16.05$, $P>0.99$) となり、全リンに対するクロロフィルの年最大値との相関係数は、 $r=0.90$ ($n=50$, $B=81\%$, $t=14.30$, $P>0.99$) となる。同様に、妥当性のデータ・スクリーニングを行なうと、全窒素に対するクロロフィルの年平均值との相関係数は、 $r=0.64$ ($n=41$, $B=41\%$, $t=5.20$, $P>0.99$) となり、全窒素に対するクロロフィルの年最大値との相関係数は、 $r=0.66$ ($n=40$, $B=44\%$, $t=5.41$, $P>0.99$) となる。

以上の分析結果から、湖沼内におけるリン濃度および窒素濃度に対する、クロロフィルとの相関係数の有意性は何れも高くなるが、クロロフィルは窒素濃度に比べ、リン濃度との相関係数の有意性が極めて高い。従って OECD は、陸水モニタリング協力計画の大多数の調査対象湖沼では、以下に示す二項目を結論付けている。

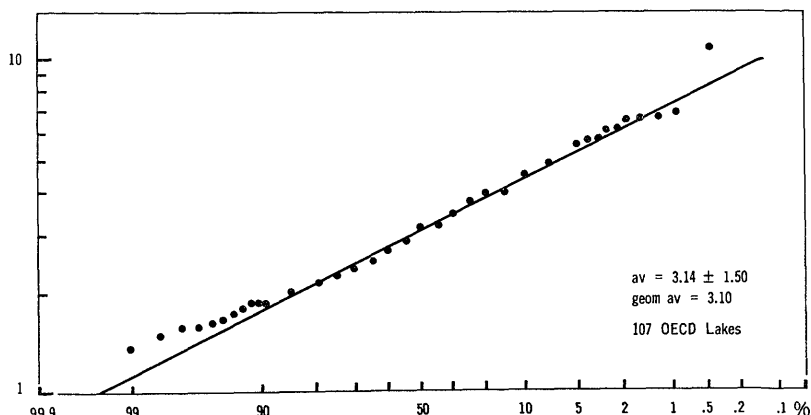
1. Biomass (chlorophyll) is significantly more strongly correlated to inlake phosphorus concentrations than to nitrogen concentrations.

2. Nitrogen concentrations do not seem to play a major role in determining biomass (chlorophyll) levels.

同様の指摘は、浅水湖および貯水池グループの報告書においても述べられている。

R. A. Jones, W. Rast, G. F. Lee は、クロロフィルの最大値は、成長期の平均値に対し約 1.5 倍から約 2 倍になると報告しているが、OECD 陸水モニタリング協力計画では、クロロフィルの最大値を平均した値は、クロロフィルの年平均值の約 3 倍になると報告している。Fig. 2-3 に示すように、極値理論を用いて分析すると、クロロフィルの最大値/クロロフィルの年平均值の比は、ガンブル分布に適合する。Fig. 2-3 から明らか

Figure2-3.
CHLOROPHYLL : PEAK VALUE/AVERAGE VALUE RATIO ACCORDING TO
GUMBEL'S EXTREME VALUE THEORY^②



のように、クロロフィルの最大値が年平均値の5.5倍以上を占める確率は10%、4.5倍以上を占める確率は20%となる。従って、上水道源として利用している湖沼のように、クロロフィルの年平均値よりも最大値を管理しなければならない場合、この調査結果は重要な問題を提起している。湖沼を上水道源として利用している場合、クロロフィルに対する対策としては、80%の確率で生ずるクロロフィルの最大値の処理能力を有する浄水場汚濁施設を設置・維持するか、あるいは湖沼の水質保全に関するクロロフィルの環境基準（environmental quality standard）を設定することが必要となる。

富栄養化の一指標である水の透明度（transparency）は、植物プランクトンの現存量と強い相関関係にある他、^②微細な懸濁物質（suspended substance）、コロイド状の有機物質および光の反射率等により影響を受け

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

る。調査対象湖沼における、セッキ板透明度の年平均値とクロロフィルの年平均値との関係は、 $r = -0.75$ ($t = 10.99$) となり、有意な逆相関関係を示す。同様に、セッキ板透明度の年平均値と全リンの年平均濃度との関係は、 $r = -0.47$ ($t = 5.09$) となり、有意な逆相関関係を示す。他方、W. T. Edmondson は湖沼の透明度に関し、富栄養化が高度に進行している湖沼では、植物性プランクトンの現存量の減少が、直接透明度の改善に強く結び付くとは限らないと報告している。

2-3 回帰分析

OECD 陸水モニタリング協力計画において得られたデータは、個々の測定点を完全に定量化することが不可能なため、統計的処理の過程において誤差を伴うことは避けられない。それ故、測定データを基に回帰方程式を導く際、何れのパラメータを独立変数とし、他を従属変数とするかに不確実性が認められる。この問題を解決するため、OECD は回帰方程式を導くとともに、部分的には近似直交回帰方程式をも導いている。

OECD 陸水モニタリング協力計画の調査対象湖沼における、全リンの年平均濃度および生産層 (euphotic zone) 中におけるクロロフィルの年平均濃度に関し、測定データをデータ・スクリーニングしていない (Table 2-2 参照) 回帰方程式を式 (2-1) に示す。

$$[\overline{\text{chl}}] = 0.61 [\overline{\text{P}}]^{0.69} \quad (2-1)$$

r (correlation coefficient) = 0.75, SE (standard error of estimates) = 0.335, n (number of data points) = 99

ここに $[\overline{\text{chl}}]$: annual average concentration of chlorophyll a in the euphotic zone (mg/m^3).

$[\overline{\text{P}}]$: annual average concentration of total phosphorus in

the lake (mg/m³).

OECD 陸水モニタリング協力計画に参加している各プロジェクトにより測定された、湖沼内における全リンの年平均濃度および生産層中におけるクロロフィルの年平均濃度に関する、データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2—2）、式（2—3）、式（2—4）および式（2—5）に示し、^{②②}OECD 全体の回帰方程式を式（3—6）に示す。

アルプス・グループ

$$[\overline{\text{chl}}]=0.48[\overline{\text{P}}]_{\lambda}^{0.87} \quad (2-2)$$

$$r=0.83, \text{SE}=0.279, n=16$$

北欧グループ

$$[\overline{\text{chl}}]=0.08[\overline{\text{P}}]_{\lambda}^{1.27} \quad (2-3)$$

$$r=0.93, \text{SE}=0.238, n=14$$

北米グループ

$$[\overline{\text{chl}}]=0.20[\overline{\text{P}}]_{\lambda}^{1.04} \quad (2-4)$$

$$r=0.91, \text{SE}=0.226, n=26$$

浅水湖および貯水池グループ

$$[\overline{\text{chl}}]=0.52[\overline{\text{P}}]_{\lambda}^{0.81} \quad (2-5)$$

$$r=0.90, \text{SE}=0.217, n=21$$

OECD 全体

$$[\overline{\text{chl}}]=0.28[\overline{\text{P}}]_{\lambda}^{0.96} \quad (2-6)$$

$$r=0.88, \text{SE}=0.251, n=77$$

式（2—6）に対応する近似直交回帰方程式を式（2—7）に示す。^{②②}

$$[\overline{\text{chl}}]=0.18[\overline{\text{P}}]_{\lambda}^{1.09} \quad (2-7)$$

湖沼内における、全リンの年平均濃度および生産層中におけるクロロフィルの年平均濃度に関し、データ・スクリーニングされた回帰方程式の傾き

は、式（2—2）、式（2—3）、式（2—4）、式（2—5）および式（2—6）から明らかなように、北欧グループの1.27が最も大きい。北欧グループの回帰方程式で傾きが大きくなる理由は、他のプロジェクトと異なりクロロフィルを測定する際、フェオフィチン補正を行っていないことに起因した結果であるが、 $P > 0.95$ で有意の差は認められない。湖沼における全リンおよびクロロフィルの関係について、測定方法上フェオフィチン補正を行っていない調査結果は、M. Sakamoto^{③②}、P. J. Dillon および F. H. Rigler^{③④}。あるいは米国環境保護庁（U. S. Environmental Protection Agency : EPA）^{③⑤}等により、報告されているが、これらの報告と OECD 陸水モニタリング協力計画で得られた調査研究結果では、データ・ベース等の相異もあり、かなり異なっている。

OECD 陸水モニタリング協力計画の調査対象湖沼における、全リンの年平均濃度および生産層中におけるクロロフィルの年最大濃度に関し、測定データをデータ・スクリーニングしていない（Table 2—2 参照）回帰方程式を式（2—8）^{②②}に示す。

$$\left[\text{chl}^{\max} \right] = 1.77 [\bar{P}]_i^{0.67} \quad (2-8)$$

$$r=0.70, SE=0.375, n=65$$

ここに $\left[\text{chl}^{\max} \right]$: annual peak concentration of chlorophyll a in the euphotic zone (mg/m³).

OECD 陸水モニタリング協力計画に参加している各プロジェクト（北欧グループは除く）により測定された、湖沼内における全リンの年平均濃度および生産層中におけるクロロフィルの年最大濃度に関する、データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2—9）、式（2—10）および式（2—11）^{②②}に示し、OECD 全体の回帰方程式を式（2—12）に示す。

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

アルプス・グループ

$$\left[\begin{matrix} \text{max} \\ \text{chl} \end{matrix} \right] = 0.78 [\overline{P}]_i^{1.07} \quad (2-9)$$

$$r=0.90, SE=0.250, n=16$$

北欧グループ

$$\left[\begin{matrix} \text{max} \\ \text{chl} \end{matrix} \right] = 0.25 [\overline{P}]_i^{1.29} \quad (2-10)$$

$$r=0.94, SE=0.226, n=14$$

浅水湖および貯水池グループ

$$\left[\begin{matrix} \text{max} \\ \text{chl} \end{matrix} \right] = 0.74 [\overline{P}]_i^{0.97} \quad (2-11)$$

$$r=0.91, SE=0.248, n=20$$

OECD 全体

$$\left[\begin{matrix} \text{max} \\ \text{chl} \end{matrix} \right] = 0.64 [\overline{P}]_i^{1.05} \quad (2-12)$$

$$r=0.90, SE=0.257, n=50$$

式（2-12）に対応する近似直交回帰方程式を式（2-13）に示す。⁽²²⁾

$$\left[\begin{matrix} \text{max} \\ \text{chl} \end{matrix} \right] = 0.42 [\overline{P}]_i^{1.17} \quad (2-13)$$

湖沼内における，全リンの年平均濃度および生産層中におけるクロロフィルの年最大濃度に関し，データ・スクリーニングされた回帰方程式の傾きは，式（2-9），式（2-10），式（2-11）および式（2-12）から明らかのように北欧グループの1.29が最も大きい。この理由は前述したように，クロロフィルを測定する際，フェオフィチン補正を行っていないことに起因した結果である。

湖沼内における，クロロフィルの年最大濃度および年平均濃度に関し，データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2-14）に示す。⁽²²⁾

$$\left[\begin{matrix} \text{max} \\ \text{chl} \end{matrix} \right] = 2.60 [\text{chl}]^{1.08} \quad (2-14)$$

$$r=0.95, SE=0.167, n=72$$

式（2—14）から明らかなように、クロロフィルの年最大濃度は、年平均濃度が大きくなるとともに、増加する傾向にある。しかしながら、式（2—14）を導く基礎となるクロロフィルの年最大濃度および年平均濃度に関する測定データは、個々の湖沼において測定頻度が異なるため、特に年最大濃度に関し誤差があるものと思われる。また、細長い湖沼では、クロロフィルの年最大濃度を代表する測定点の選択が、極めて難しい等の問題が存在する。

水の透明度は、植物プランクトンの生産量が増加するのに伴い、悪化する傾向にある。^{③⑥} 我が国の湖沼について、透明度およびクロロフィル量を調査した S. Ichimura^{③⑦} あるいは M. Sakamoto^{③⑧} の報告においても、透明度およびクロロフィル量は、強い相関関係にあることが認められている。湖沼における、セッキ板透明度の年平均値およびクロロフィルの年平均濃度に関する回帰方程式を式（2—15）に示す。

$$[\overline{\text{Sec}}]^y = 9.33[\overline{\text{chl}}]^{-0.51} \quad (2-15)$$

$$r=0.75, \text{SE}=0.198, n=78$$

ここに $[\overline{\text{Sec}}]^y$: annual average Secchi disc transparency (m).

なお、北欧グループおよび北米グループは、個々の既存データあるいは季節データを用いて、セッキ板透明度の平均値およびクロロフィルの平均濃度との関係について考察しているが、データ測定方法の相異等により、式（2—15）と直接比較することは無理がある。米国連邦水質規制局（Federal Water Pollution Control Administration: FWPCA）は、遊泳水域の透明度は1.2m 以上を必要とすると報告している。^{③⑨} 従って、湖沼の透明度が低下すると、湖沼周辺地域全体はレクリエーション的価値を失い、湖沼周辺地域全体に与える財産的・経済的損害は大きくなる。他方、レクリエーション

Table2-3.

湖沼のリンに係る水質目標値の比較

a) レベル	全リン a) 年平均値 mg/ℓ	a) 参 考 項 目		b) 式(2-15)	式(2-16)
		クロロフィルa	透 明 度	[Sec] ^y	[Sec] ^y
		夏 期 値			
		mg/m ³	m	m	m
I	0.005以下	1以下	7 以上	9.3	15.4
II	0.01 以下	3以下	4 以上	5.3	10.8
III	0.03 以下	20以下	2 以上	2.0	6.2
IV	0.05 以下	40以下	1 以上	1.4	4.8
V	0.10 以下	100以下	—	—	—

注 1) 全リンに係る目標値は、表層の値とする。

注 2) 参考項目の数値は、湖沼表層水の全リン年平均値に対応する期待値を示すものである。

著者注：a) 文献⑳より引用(注 1、注 2 も含む)。

b) クロロフィルの年平均濃度には、夏期値を使用。

ヨンを必要とする人々へも同様に、財産的・経済的損害を与える結果となる。

前述のように、クロロフィルの年平均濃度および全リンの年平均濃度は、強い相関関係にある。従って、湖水における透明度の年平均値および全リンの年平均濃度に関する回帰方程式は式 (2-16) で示される。⁽²²⁾

$$[\overline{\text{Sec}}]^y = 35.0 [\overline{\text{P}}]_x^{-0.51} \quad (2-16)$$

式 (2-15) および式 (2-16) より、湖沼における透明度の年平均値は、クロロフィルの年平均濃度あるいは全リンの年平均濃度から予測することができる。Table 2-3 は、我が国における湖沼の隣に係る水質目標値⁽²³⁾に対し、式 (2-15) および式 (2-16) から求めた計算結果を示している。Table 2-3 から明らかなように、我が国の湖内における透明度の目標値 (年平均値) は、クロロフィルの年平均値から比較的予測することが可能である。

富栄養化は、生物が水中に溶存している栄養塩類の作用を受け、一次生産量を増大させた結果生ずる現象である。一次生産量の増大は、1843年 J. von Liebig によって提唱された「最少量の法則 (law of minimum)」⁽³⁹⁾ による支配を受ける。従って、一次生産量を増大させる栄養塩類を把握することは、富栄養化の状態あるいは防止対策における一指標として重要な意味を持つ。湖沼における、年間一次生産量および全リンの年平均濃度に関しては、式 (2-17) に示す回帰方程式および式 (2-18) に示す双曲線回帰方程式⁽²²⁾の二種類の式が導かれている。

$$\Sigma \text{PP} = 31.1 [\overline{\text{P}}]_x^{0.54} \quad (2-17)$$

$$r = 0.71, \text{SE} = 0.265, n = 49$$

ここに ΣPP : annual planktonic primary production per unit lake

Figure2-4.

ANNUAL PLANKTONIC PRIMARY PRODUCTION PER UNIT LAKE SURFACE AREA IN RELATION TO ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION OF TOTAL PHOSPHORUS IN THE LAKE, HYPERBOLIC FUNCTION.²²⁾

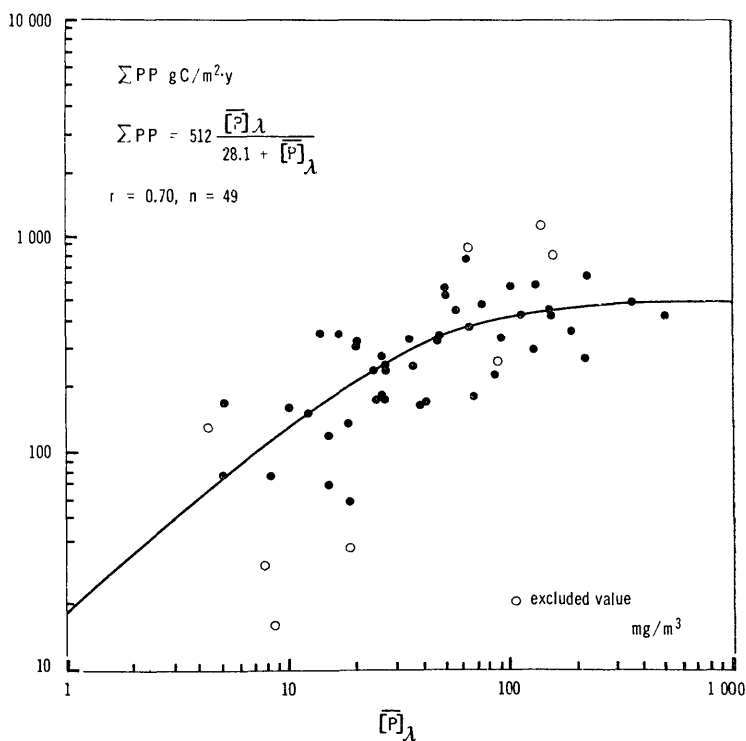
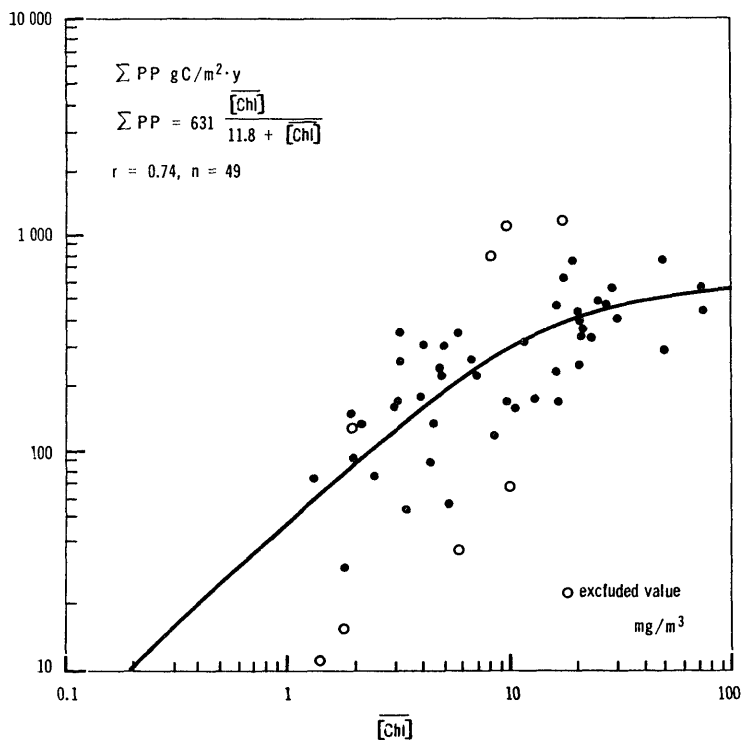


Figure2-5.

ANNUAL PLANKTONIC PRIMARY PRODUCTION PER UNIT LAKE SURFACE AREA IN RELATION TO ANNUAL AVERAGE CONCENTRATION OF CHLOROPHYLL IN THE EUPHOTIC ZONE, HYPERBOLIC FUNCTION.



surface area (gC/m²/y).

$$\Sigma PP = 512[\overline{P}]_i \cdot \{28.1 + [\overline{P}]_i\}^{-1} \quad (2-18)$$

$$r=0.70, n=49$$

Fig. 2—4 は、式 (2—18) および式 (2—18) を導く基礎となる測定データをプロットした図を示す。同様に、湖沼における年間一次生産量およびクロロフィルの年平均濃度に関しては、式 (2—19) に示す回帰方程式および式 (2—20) に示す双曲線回帰方程式の二種類の式が導かれている。

$$\Sigma PP = 56.6[\overline{chl}]^{0.61} \quad (2-19)$$

$$r=0.79, SE=0.242, n=49$$

$$\Sigma PP = 631[\overline{chl}] \cdot \{11.8 + [\overline{chl}]\}^{-1} \quad (2-20)$$

$$r=0.74, n=49$$

Fig. 2—5 は、式 (2—20) および式 (2—20) を導く基礎となる測定データをプロットした図を示す。双曲線回帰方程式は回帰方程式に比べ、理論的には現象をより正確に把握することが可能である。式 (2—18) および式 (2—20) の極大値は、 $P > 0.95$ で有意の差は認められない。

湖沼における全リンの年平均濃度を、外部環境から流入する全リンの年平均流入濃度を基礎として、予測する方法が試みられた。これは現在、富栄養化の進行している湖沼あるいは今後進行するであろうと予測される湖沼において、富栄養化の改善あるいは防止するための一対策として、外部環境から湖沼へ流入する全リンの基準値を設定する上で、有効な手段となるであろう。しかしながら、地球化学的原因により地下から大量の全リンが流入する事例、湖底堆積物中からの溶出、あるいは硬水湖であるか軟水湖であるか等の、特殊な関係は考慮されていない。OECD 陸水モニタリング協力計画に参加している各プロジェクトにより測定された、湖沼内にお

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

ける全リンの年平均濃度，および外部環境から流入する全リンの年平均流入濃度に関する，データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2—21），式（2—22），式（2—23）および式（2—24）に示し，OECD 全体の回帰方程式を式（2—25）に示す。^{②②}

アルプス・グループ

$$[\overline{P}]_i = 0.86[\overline{P}]_j^{0.80} \quad (2-21)$$

$$r=0.92, SE=0.223, n=18$$

ここに $[\overline{P}]_j$: annual average inflow concentration of total phosphorus (mg/m³).

北欧グループ

$$[\overline{P}]_i = 1.26[\overline{P}]_j^{0.70} \quad (2-22)$$

$$r=0.73, SE=0.337, n=14$$

北米グループ

$$[\overline{P}]_i = 0.66[\overline{P}]_j^{0.85} \quad (2-23)$$

$$r=0.84, SE=0.286, n=31$$

浅水湖および貯水池グループ

$$[\overline{P}]_i = 0.65[\overline{P}]_j^{0.88} \quad (2-24)$$

$$r=0.91, SE=0.231, n=24$$

OECD 全体

$$[\overline{P}]_i = 0.76[\overline{P}]_j^{0.83} \quad (2-25)$$

$$r=0.87, SE=0.261, n=87$$

以上の回帰方程式では，全リンに関する外部環境からの流入項のみが考慮されており，外部環境への流出項は考慮されていない。従って信頼性を高めるためには，外部環境から湖沼内へ流入する全リンに対し，湖沼内から

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

外部環境へ流出する全リンを補正する必要がある。OECD 陸水モニタリング協力計画に参加している各プロジェクトにより測定された、湖沼内における全リンの年平均濃度，および全リンの年平均流出補正流入濃度に関するデータ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2—26），式（2—27），式（2—28）および式（2—29）に示し，OECD 全体の回帰方程式を式（2—30）^②に示す。

アルプス・グループ

$$[\overline{P}]_i = 1.58[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.83} \quad (2-26)$$

$$r=0.93, SE=0.212, n=18$$

ここに $T(w)$: water residence time (y).

$[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}$: annual average concentration of total phosphorus in the lake, predicted from loading (mg/m³).

北欧グループ

$$[\overline{P}]_i = 1.12[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.92} \quad (2-27)$$

$$r=0.86, SE=0.252, n=14$$

北米グループ

$$[\overline{P}]_i = 1.95[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)^{\frac{1}{2}}\}^{-1}]^{0.79} \quad (2-28)$$

$$r=0.95, SE=0.160, n=31$$

浅水湖および貯水池グループ

$$[\overline{P}]_i = 1.02[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.88} \quad (2-29)$$

$$r=0.95, SE=0.185, n=24$$

OECD 全体

$$[\overline{P}]_i = 1.55[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)^{\frac{1}{2}}\}^{-1}]^{0.82} \quad (2-30)$$

$$r=0.93, SE=0.192, n=87$$

式（2—30）に対応する近似直交回帰方程式は、式（2—31）で示される。²²⁾

$$[\bar{P}]_i = 1.22[\bar{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{1/2}]^{-1} \quad (2-31)$$

浅水湖および貯水池グループは、式（2—29）の他、人工的な揚水型貯水池、内部負荷の存在する湖あるいは細長い貯水池等の、全ての測定データ³⁹⁾⁴³⁾を含めて処理した式（2—32）を報告している。

$$\begin{aligned} [\bar{P}]_i &= [\bar{P}]_j \cdot [1 + 2.271\{T(w)\}^{0.586}]^{-1} \\ &\div [\bar{P}]_j \cdot [1 + 2\{T(w)\}^{1/2}]^{-1} \end{aligned} \quad (2-32)$$

式（2—29）および式（2—32）の推定標準誤差は、各々 $SE=0.185$ および $SE=0.333$ である。従って両式を比較すると、統計的には式（2—29）を予測モデルとして使用すべきである。

外部環境から湖内へ流入する栄養塩類に対し、湖内から外部環境へ流出する栄養塩類を補正することにより推定される、湖内における個々の栄養塩類の平均濃度は、以下に示す仮定が成立することを前提条件としている。

仮定：湖は湖容積が一定の完全混合槽であり、湖内における栄養塩類の平均濃度は、流出水濃度に等しい。

しかしながら実際は、個々の湖における垂直方向の不均一性、水理学的特徴および地形学的特徴等の相異により、完全な混合は妨げられる。この結果、湖内における個々の栄養塩類の平均濃度と流出水濃度が異なるため、測定データをデータ・スクリーニングした後でも、湖内における栄養塩類の年平均濃度の推定には、かなりの誤差が含まれる。湖内における全リンの年平均濃度、および流出水中に溶存する全リンの年平均濃度に関する、データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2—33）に示す。²²⁾

$$[\bar{P}]_0 = 1.36[\bar{P}]_i^{0.92} \quad (2-33)$$

$$r=0.95, SE=0.173, n=62$$

ここに $[\overline{P}]_0$: annual average outflow concentration of total phosphorus (mg/m³).

式（2—33）に対応する近似直交回帰方程式は、式（2—34）が示される。⁽²²⁾

$$[\overline{P}]_0 = 1.12[\overline{P}]_i^{0.97} \quad (2-34)$$

湖内の生産層中における全リンの年平均濃度，および流出水中に溶存する全リンの年平均濃度に関する，データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2—35）に示す。⁽²²⁾

$$[\overline{P}]_0 = 1.18[\overline{P}]_e^{0.98} \quad (2-35)$$

$$r=0.96, SE=0.153, n=59$$

ここに $[\overline{P}]_e$ = annual average concentration of total phosphorus in the euphotic zone (mg/m³).

式（2—35）に対応する近似直交回帰方程式は、式（2—36）で示される。⁽²²⁾

$$[\overline{P}]_0 = 0.94[\overline{P}]_e^{1.04} \quad (2-36)$$

式（2—33）および式（2—35）の推定標準誤差は，各々 $SE=0.173$ および $SE=0.153$ である。従って，流出水中に溶存する全リンの年平均濃度は，湖内における全リンの年平均濃度よりも，生産層中における全リンの年平均濃度から，より正確に予測することができる。

OECD 陸水モニタリング協力計画に参加している各プロジェクトにより測定された，生産層中におけるクロロフィルの年平均濃度，および全リンの年平均流出補正流入濃度に関する，データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2—37），式（2—38），式（2—39）および式（2—40）に示し，⁽²²⁾ OECD 全体の回帰方程式を式（2—41）に示す。

アルプス・グループ

$$[\overline{chl}] = 0.47[\overline{P}]_f \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.78} \quad (2-37)$$

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

$$r=0.94, SE=0.189, n=12$$

北欧グループ

$$[\overline{chl}] = 0.13[\overline{P}]_f \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{1.03} \quad (2-38)$$

$$r=0.82, SE=0.329, n=13$$

北米グループ

$$[\overline{chl}] = 0.39[\overline{P}]_f \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.79} \quad (2-39)$$

$$r=0.89, SE=0.261, n=20$$

浅水湖および貯水池グループ

$$[\overline{chl}] = 0.54[\overline{P}]_f \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.72} \quad (2-40)$$

$$r=0.87, SE=0.238, n=22$$

OECD 全体

$$[\overline{chl}] = 0.37[\overline{P}]_f \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.79} \quad (2-41)$$

$$r=0.88, SE=0.257, n=67$$

式（2-41）に対応する近似直交回帰方程式は、式（2-42）で示される。^{②②}

$$[\overline{chl}] = 0.24[\overline{P}]_f \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.91} \quad (2-42)$$

OECD 陸水モニタリング協力計画に参加している各プロジェクト（北米グループは除く）により測定された、生産層中におけるクロロフィルの年最大濃度，および全リンの年平均流出補正流入濃度に関する，データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2-43），式（2-44）および式（2-45）に示し，OECD 全体の回帰方程式を式（2-46）に示す。^{②②}

アルプス・グループ

$$[\overline{chl}]^{\max} = 0.83[\overline{P}]_f \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.92} \quad (2-43)$$

$$r=0.96, SE=0.191, n=11$$

北欧グループ

$$[\overline{\text{chl}}^{\text{max}}] = 0.47[\overline{\text{P}}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-44)$$

$$r = 0.77, \text{SE} = 0.373, n = 13$$

浅水湖および貯水池グループ

$$[\overline{\text{chl}}^{\text{max}}] = 0.77[\overline{\text{P}}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-45)$$

$$r = 0.88, \text{SE} = 0.276, n = 21$$

OECD 全体

$$[\overline{\text{chl}}^{\text{max}}] = 0.74[\overline{\text{P}}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-46)$$

$$r = 0.89, \text{SE} = 0.284, n = 45$$

式（2-46）に対応する近似直交回帰方程式は、式（2-47）で示される^{②②}。

$$[\overline{\text{chl}}^{\text{max}}] = 0.45[\overline{\text{P}}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-47)$$

OECD 陸水モニタリング協力計画に参加している各プロジェクト（北欧グループは除く）により測定された、セッキ板透明度の年平均値、および全リンの年平均流出補正流入濃度に関する、データ・スクリーニングされた回帰方程式を式（2-48）、式（2-49）および式（2-50）に示し、OECD 全体の回帰方程式を式（2-51）に示す。

アルプス・グループ

$$[\overline{\text{Sec}}]^y = 15.3[\overline{\text{P}}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-48)$$

$$r = -0.74, \text{SE} = 0.171, n = 18$$

北米グループ

$$[\overline{\text{Sec}}]^y = 20.3[\overline{\text{P}}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-49)$$

$$r = -0.82, \text{SE} = 0.196, n = 22$$

浅水湖および貯水池グループ

$$[\overline{\text{Sec}}]^y = 8.47[\overline{\text{P}}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-50)$$

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

$$r = -0.55, SE = 0.237, n = 26$$

OECD 全体

$$[\overline{Sec}]^y = 14.7[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{-0.39} \quad (2-51)$$

$$r = -0.69, SE = 0.237, n = 66$$

各プロジェクトにより求められた回帰方程式は、 $P > 0.95$ で有意の差は認められない。

湖沼における年間一次生産量，および全リンの年平均流出補正流入濃度に関しては，式（2—17）および式（2—18）と同様に，式（2—52）に示す回帰方程式および式（2—53）に示す双曲線回帰方程式の二種類の式が導^②かれている。

$$\Sigma PP = 22.9[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{0.60} \quad (2-52)$$

$$r = 0.75, SE = 0.279, n = 34$$

$$\Sigma PP = 589[\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}] \cdot [48.0 + [\overline{P}]_j \cdot [1 + \{T(w)\}^{\frac{1}{2}}]^{-1}]^{-1} \quad (2-53)$$

$$r = 0.74, n = 34$$

3. む す び

今日直面している環境汚染は，「自然環境の容量が一定」であるにもかかわらず，自然界の持つ自浄作用（self purification）の限界を越えた，大量の廃棄物（waste）を排出している，人為的活動に起因した現象である。これは，土地を除く環境資源は，公共財的性格から価格を持たないのが通常であり，市場経済システムにおいては，経済的決定の計算上無視されて^④いるため，人間系と自然系において，アンバランスな関係を引き起こして

来た結果である。

本論文は、富栄養化に関する、OECD 陸水モニタリング協力計画において得られた、調査研究結果に関して述べている。同計画で得られた、富栄養化の原因物質となる栄養塩類の判定では、大多数の調査対象湖沼において、富栄養化とリン濃度との間に強い相関関係を認めている。従って、OECD は、リンが富栄養化を引き起こす必要最低限の栄養塩であると報告している。この結論は、従来から論議されて来た、窒素説あるいは二酸化炭素説^{22,30}を否定したものであり、今後 OECD 加盟諸国では、陸水域における富栄養化の防止対策として、リンを規制する方向に進むものと思われる。既に、米国環境保護庁では、富栄養化を調査する判定基準としてリンを採用している²⁵。この富栄養化に関する判定基準は、OECD の 5 段階区分に対し 3 段階区分を採用しており、全リン濃度は、貧栄養湖 $<10\mu\text{g/l}$ 、中栄養湖 $=10\sim20\mu\text{g/l}$ 、および富栄養湖 $>20\sim25\mu\text{g/l}$ としている²³。他方、我が国においても滋賀県は、近畿圏 1,300 万人の「水ガメ」である琵琶湖の富栄養化を防止するため、リンを含む家庭用合成洗剤の使用、販売および贈答を禁止した、「滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」（滋賀県条例第37号）を、昭和54年10月17日に公布し、昭和55年7月1日より施行している⁴⁵。

OECD は、調査対象湖沼における、統計的關係を把握するため、栄養状態指標とその予測式を導いている。個々の湖沼に限定して適用されるモデル、例えば「琵琶湖モデル」⁴⁷等は、用いるパラメータの数が多くなり、非常に複雑な型となる他、他の湖沼に適用することは不可能である。これに対し、OECD 陸水モニタリング協力計画で得られた予測式は、少数のパラメータを測定することにより、湖沼の栄養状態の予測を可能にするとともに、富栄養化の防止対策を講ずる際に有効な指針を与えるであろう。湖沼へ流

入するリン濃度は、流域地域の自然肥沃状態により、国あるいは地域毎に異なっている。湖沼の水質を管理するため、設定すべき水質目標値は、これらの自然環境を理解した上で、国あるいは地域における利水目的、現在の栄養状態および今後の予測に基づいて決定されるべきである。自然的発生源から湖沼へ流入するリンは、制御することが不可能である。従って、人為的発生源から湖沼へ流入するリンを制御することが、富栄養化を防止する上で必要となる。地球的な規模における水資源の量的問題は、今後ますます不足の度合いを強めて行く^{④⑤}と予測されている現在、1日も早く根本的な富栄養化防止対策の確立を急ぎ、水資源の質的問題を解決して行かなければならない。富栄養化を含む水質汚濁に伴う影響は、先進諸国においてのみ発生しているのではなく、例えばインド水資源局の A. C. Chaturvedi は、水質汚濁に起因して、インド国内の食糧生産高は、約30%の減少を示していると報告している^{④⑤}。

本論文は、OECD 陸水モニタリング協力計画の調査研究で得られた、湖沼および貯水池における、富栄養化の原因物質としての栄養塩類の判定、および種々の栄養状態指標とその予測式に関して述べている。なお、富栄養化に対する点源（point source）および散在源（diffuse source）別のリン供給源の寄与関係、予測式を用いた水資源管理上への応用に関しては、第三報で報告する予定である。

注

- ① OECD : The State of the Environment in OECD Member Countries, OECD, 1979.
- ② OECD Recommendation : Strategies for Specific Water Pollutant Control OECD, 1974.
- ③ 若月俊一「環境汚染と健康障害」, 講談社, 1973年。

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

- ④ 「有機塩素系農薬の販売の禁止及び制限を定める省令」（農林省令第26号），昭和46年。
- ⑤ 建設省編「建設白書（昭和56年版）」，大蔵省印刷局，昭和56年。
- ⑥ OECD Recommendation : Water Management Policies and Instruments. OECD, 1978.
- ⑦ OECD Water Management Group : Control of Specific Pollutants in Waste Water Treatment. OECD, 1979.
- ⑧ OECD : Water Management in Industrialised River Basins. OECD, 1980.
- ⑨ OECD : Transfrontier Pollution and the Role of States. OECD, 1981.
- ⑩ 長谷川三雄「経済協力開発機構における水質保全対策——陸水域の富栄養化防止について——」，国土館大学政経学部二部研修会発表要旨第2号，昭和56年。
- ⑪ OECD Recommendation : Guiding Principles Concerning International Economic Aspects of Environmental Policies. OECD, 1972.
- ⑫ OECD Recommendation : The Implementation of the Polluter Pays Principle. OECD, 1974.
- ⑬ OECD : The Polluter Pays Principle. Definition, Analysis Implementation. OECD, 1975.
- ⑭ OECD : Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters. OECD, 1971.
- ⑮ OECD Water Management Group : Control of Organochlorinated Compounds in Drinking Water (Assessment of Alternative Treatment Methods). OECD, 1979.
- ⑯ C. P. Milway : Eutrophication in Large Lakes and Impoundments. Uppsala Symposium, OECD, 1970.
- ⑰ 森下郁子「環境を診断する」，中央公論社，昭和56年。
- ⑱ 藤永太郎編「琵琶湖の動態」，時事通信社，昭和49年。
- ⑲ 長谷川三雄「経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（一）」，国土館大学政経論叢第37・38合併号，昭和56年。
- ⑳ 吉村信吉「湖沼学——増補版——」，生産技術センター新社，昭和51年（複刻版）。
- ㉑ 坂本藤良スタディ・グループ訳編「ニクソン大統領環境報告（公害教書）」，日本総合出版機構，昭和45年。
- ㉒ OECD : Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control.

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

OECD, 1982.

- ②③ L. E. Kuentzel : Bacteria, Carbon Dioxide, and Algal Blooms, Journal of Water Pollution Control Federation, 41, 1969.
- ②④ R. T. Oglesby, W. R. Schaffner, and E. L. Mills : Nitrogen, Phosphorus and Eutrophication in the Finger Lakes, Cornell Univ. Water Resources and Marine Sciences Center, Ithaca, N. Y. Tech. Rept, 94, 1975.
- ②⑤ Water in the News : Nitrogen is Limiting. The Soap and Detergent Association, 1971.
- ②⑥ R. A. Vollenweider : Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication, Tech. Rept, OECD, 1968.
- ②⑦ R. A. Vollenweider : The Scientific Basis of Land Stream Eutrophication, with Particular Reference to Phosphorus and Nitrogen as Factors in Eutrophication, Tech. Rept, OECD, 1968.
- ②⑧ 窒素, 磷等水質目標検討会「湖沼の磷に係る水質目標についての検討結果——窒素, 磷等水質目標検討会報告——」, 昭和55年。
- ②⑨ 窒素, 磷等水質目標検討会「湖沼の窒素に係る水質目標についての検討結果——窒素, 磷等水質目標検討会報告——」, 昭和57年。
- ③⑩ OECD : OECD Cooperative Programme for Inland Waters (Eutrophication Control) : Final Report of the Project on “Shallow Lakes and Reservoirs”, Vol. 1. OECD, 1979.
- ③⑪ R. A. Jones, W. Rast, and G. F. Lee : Relationship between Summer Mean and Maximum Chlorophyll a Concentrations in Lakes, Env. Sci. and Tech. 13, 1979.
- ③⑫ M. Sakamoto : Primary Production by Phytoplankton Community in Some Japanese Lakes and its Dependence on Lake Depth. Archiv for Hydrobiologie, 62, 1966.
- ③⑬ W. T. Edmondson : Nutrients and Phytoplankton in Lake Washington. In Nutrients and Eutrophication : the Limiting Nutrient Controversy, G. E. Likens (ed.), American Society of Limnology and Oceanography. Spec. Symposia, Vol. 1. 1972.
- ③⑭ P. J. Dillon, and F. H. Rigler : The Phosphorus-Chlorophyll Relationship in Lakes, Limnology and Oceanography, 19, 1974.

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

- ③⑤ U. S. Environmental Protection Agency : The Relationships of Phosphorus and Nitrogen to the Trophic State of North-East and North-Central Lakes and Reservoirs. National Eutrophication Survey Working Paper No. 23, Pacific Northwest Environmental Research Laboratory, 1974.
- ③⑥ 小泉清明「川と湖の生態」, 共立出版, 昭和46年。
- ③⑦ S. Ichimura : On the Standing Crop and Productive Structure of Phytoplankton Community in Some Lakes of Central Japan. Botanical Magazine Tokyo, 69, 1956.
- ③⑧ Federal Water Pollution Control Administration : Water Quality Criteria. Report of the National Technical Advisory Committee to the Secretary of the Interior, 1968.
- ③⑨ 山田常雄, 前川文夫, 江上不二夫, 八杉竜一, 小関治男, 古谷雅樹, 日高敏隆 編集「生物学辞典（第2版）」, 岩波書店, 1977年。
- ④⑩ R. O. Sylvester, and G. Anderson : An Engineering and Ecological Study for the Rehabilitation of Green Lake. Report to the Seattle, Washington Park Board, 1960.
- ④⑪ R. T. Oglesby, L. S. Hamilton, E. L. Mills, and P. Willing : Owasco Lake and its Watershed. Cornell Univ. Water Resources and Marine Sciences Center, Ithaca, N. Y. Tech. Rept. 70, 1973.
- ④⑫ G. E. Hutchinson : Eutrophication, Past and Present, “Eutrophication : Causes, Consequences, Correctives”, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1969.
- ④⑬ 長谷川三雄「OECD によるリン濃度予測モデル」, 国土館大学政経学部二部研修会発表要旨第3号, 昭和57年。
- ④⑭ 加藤寛, 中村秀一郎, 新野幸次郎編「経済政策(3)——日本の産業政策——」, 有斐閣, 昭和46年。
- ④⑮ U. S. Environmental Protection Agency : Water Quality Criteria Research of the U. S. Environmental Protection Agency. Proceedings of an EPA Sponsored Symposium, EPA-600/3-76-079, 1976.
- ④⑯ 長谷川三雄「自治体の水質保全対策にみる一考察——滋賀県条例に関する環境問題——」, 国土館大学政経論叢第34号, 昭和55年。
- ④⑰ 岩井重久, 井上頼輝, 池田三郎, 海老瀬潜一「琵琶湖の将来水質に関する調査報告書」, 土木学会衛生工学委員会, 1975年。

経済協力開発機構（OECD）における水資源管理対策（二）（長谷川）

- ④⑧ 逸見謙三，立花一雄監訳「アメリカ合衆国政府特別調査報告，西暦2000年の地球 一，人口・資源・食糧編」，家の光協会，昭和55年。
- ④⑨ A. C. Chaturvedi : Water Quality Monitoring. International Workshop on Practical Experience of Control and Automation in Wastewater Treatment and Water Resources Management, Part 1, 1981.
- ⑤⑩ 長谷川三雄「第三回 IAWPR ワークショップ」，国土館大学政経論叢第39号，昭和57年。